2.

Ueber die Bewegungen des kurzsichtigen Auges.

Von

Dr. Berthold in Königsberg.

Diese Arbeit verdankt ihren Ursprung den physiologisch-optischen Studien, welche ich im letzten Jahre im physiologischen Laboratorium zu Heidelberg gemacht habe. Ich bin erfreut, hier Gelegenheit zu haben, Herrn Hofrath Helmholtz für seinen vielfachen Rath und Beistand bei diesen Studien öffentlich meinen innigsten Dank auszusprechen.

Nachdem die Lehre von den Bewegungen des Auges durch die neuern Arbeiten immer verwickelter zu werden drohte, hat sich dieselbe durch die Einführung eines neuen Princips von Helmholtz*) überraschend einfach gestaltet. Dieses neue Princip ist das der leichtesten Orientirung, welches in seinen Folgen mit dem Listingschen Gesetze nahezu übereinstimmt.

Es war dieses Gesetz bis jetzt nur für normale Augen richtig befunden, für kurzsichtige Augen schien es nicht vollkommen zu stimmen, daher stellte ich es mir zur Aufgabe, dasselbe für mein Auge, dessen Kurzsichtigkeit circa $^1/_{10}$ ist, zu prüfen. Die Versuche, welche ich dazu

---

*) Dieses Archiv Bd. 9 Abth. 2.

machte, sind nach zwei Methoden angestellt, so dass ich die Resultate der einen, durch die der andern controlliren konnte, und zwar benutzte ich zuerst die Methode der Doppelbilder, dann die der Nachbilder.

Meissner war der Erste, welcher ausführliche Untersuchungen mit Hilfe von Doppelbildern anstellte. Indem ich auf dessen sehr werthvolle Arbeit verweise, will ich hier über Doppelbilder im Allgemeinen Nichts erwähnen, und nur das kurz anführen, was meine Versuche speciell betrifft.

Fixiren wir einen Punkt im Raume, so werden uns zwei andere Punkte, die vor oder hinter dem fixirten Punkte liegen, in Doppelbildern erscheinen, wir werden also anstatt 2 Punkte 4 Punkte wahrzunehmen glauben. Nun können wir aber immer durch zweckmässige Fixation zwei von den 4 Punkten zur Deckung bringen, so dass uns nur 3 Punkte im Gesichtsfelde erscheinen. Nenne ich in Fig. 1 und 2 den fixirten Punkt F, die bei-

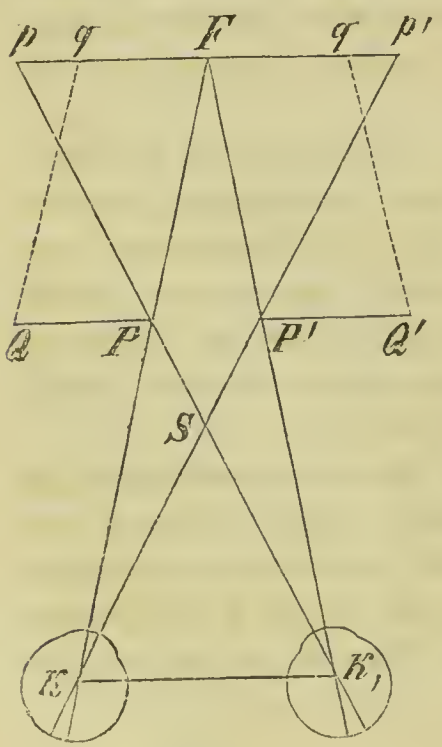


Fig. 1.

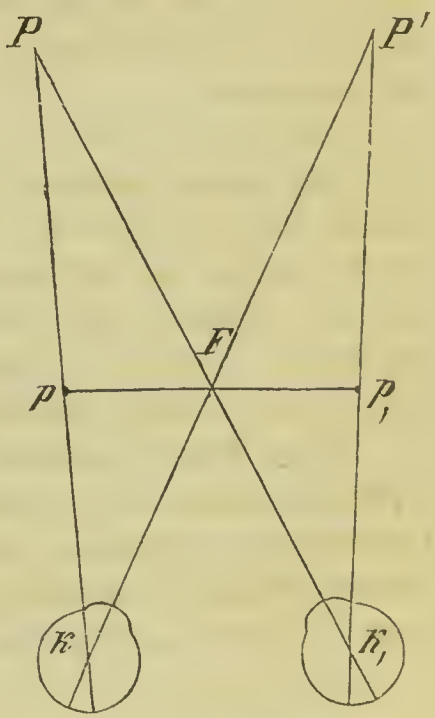


Fig. 2.

den Punkte, von denen ich mir Doppelbilder verschaffen will, P und P', so werden die beiden mittelsten Doppelbilder immer in F zur Deckung kommen, wenn die Punkte P und P' auf den beiden Gesichtslinien liegen, gleichviel, ob vor oder hinter dem Schnittpunkte F derselben. Die Doppelbilder der Punkte P und P' kann man sich auf einer Linie projicirt denken, welche durch den Fixationspunkt F parallel zur Verbindungslinie der Knotenpunkte K und K, beider Augen gezogen ist. Liegt der fixirte Punkt hinter den beiden Punkten P und P', wie in Fig. 1, so wird das Doppelbild von P', p' rechts von F liegen und vom linken Auge gesehen werden, p das zweite Bild von P dagegen links von F liegen und dem rechten Auge erscheinen. Die beiden Richtungsstrahlen (das sind die Linien, welche von einem Punkte des Objekts durch den Knotenpunkt des Auges zur Netzhaut gezogen werden) P K, und P, K werden sich in S kreuzen, p und p, also gekreuzte Doppelbilder sein. Liegt der fixirte Punkt F vor den beiden Punkten P und P', wie in Fig. 2, so werden sich die beiden Richtungsstrahlen P K und P' K' nicht kreuzen, p und p, also gleichnamige Doppelbilder sein.

Denken wir uns nun in Fig. 1 den Fixationspunkt unendlich weit gelegen; so werden die beiden Gesichtslinien parallel laufen und sich in der Unendlichkeit schneiden, die beiden Punkte P und P', welche ja auf den Gesichtslinien liegen sollen, werden dann die Entfernung der Knotenpunkte beider Augen haben müssen, damit ihre in der Mitte gelegenen Doppelbilder wieder zur Deckung kommen. Denken wir uns nun schliesslich von den Punkten P und P' zwei horizontale Linien P Q und P' Q' gezogen, so werden die Doppelbilder derselben in F zusammenstossen, (da ja ihre Endpunkte P und P' einander decken) und eine gerade Linie q F q', oder

einen Winkel, dessen Scheitelpunkt F und dessen Schenkel q F und q' F wären, zu bilden scheinen.

Nun kennen wir ja das Bewegungsgesetz für normalsichtige Augen und wollen untersuchen, wie diesen die Doppelbilder der bezeichneten Horizontallinien erscheinen müssen.

Der Wortlaut des Listing'schen Gesetzes ist nach Ruete*) folgender:

Aus der normalen Stellung des Auges, welche die primäre heissen mag, wird das Auge in irgend eine andere, secundäre, durch die Cooperation der sechs Muskeln in der Weise versetzt, dass man sich diese Versetzung als das Resultat einer Drehung um eine bestimmte von den obigen 3 verschiedene Drehungsaxe vorstellen kann, welche jederzeit durch das Augencentrum gehend, auf der primären und der secundären optischen Axe (Gesichtslinie) zugleich senkrecht steht, so dass also jede secundäre Stellung des Auges zur primären in der Relation steht, vermöge welcher die auf die optische Axe projicirte Drehung = 0 wird.

Für die Versuche ist es nöthig, die Primärstellung der Augen empirisch, wie es Helmholtz**) angegeben hat, zu suchen. Obgleich ich dieselbe Terminologie anwende, wie sie sich in den Arbeiten von Helmholtz findet, so will ich hier doch noch zur grössern Bequemlichkeit ein Paar Erklärungen mit kurzen Worten vorausschicken.

Die Ebene, welche wir uns durch die Gesichtslinie beider Augen gelegt denken, nenne ich die Visirebene. Die Hebung und Senkung dieser Visirebene von der Primärlage aus wird durch den Erhebungswinkel bestimmt, er sei positiv bei erhobenem Blick, negativ bei gesenktem Blick. Die Bewegung der Augen in der Vi-

*) Ruete, Lehrbuch der Ophthalmologie. 2te Auflage. Pag. 37.

**) Dieses Archiv. Bd. 9. Abtheil. 2. Pag. 175.

sirebene nach rechts und links, wollen wir die Innenwendung nennen, sie ist positiv, wenn sich das Auge von der Medianstellung nach der Nase zu bewegt, negativ für die Wendung des Auges nach der Schläfe hin. Der Kreis, in dem die Visirebene bei der Primärlage die beiden Netzhäute schneidet, heisst die horizontale Trennungslinie. In den Augen von Helmholtz fallen die horizontalen Trennungslinien mit dem Netzhauthorizonte (das ist der Kreis im Auge, in welchem die Visirebene bei der Innenwendung = 0 und bei der Erhebung = 0 die beiden Netzhäute schneidet) zusammen; da ist also der Netzhauthorizont gleichzeitig die horizontale Trennungslinie. Bei Volkmann*) und Hering**) ist das nicht der Fall, denn nach ihren Beobachtungen bilden die horizontalen Trennungslinien mit einander einen Winkel. Bei Bewegungen des Auges werden die horizontalen Trennungslinien nicht immer mit der Visirebene zusammenfallen, sondern mit ihr einen Winkel bilden. Diesen Winkel nenne ich Raddrehungswinkel, so lange das Auge dem Listing'schen Gesetze folgt. (Gewöhnlich wird der Winkel zwischen der Visirebene und dem Netzhauthorizonte Raddrehunswinkel genannt. Da es mir aber in Folgendem wesentlich auf die horizontalen Trennungslinien ankommt, so will ich den Raddrehungswinkel auch von ihnen aus abmessen.) Folgt ein Auge dem Listing'schen Gesetze nicht, so wird es auch andere Winkel für die Raddrehung angeben. Die Differenz zwischen dem Winkel, welchen die horizontalen Trennungslinien mit der Visirebene bilden und dem Winkel, welchen sie nach dem Listing'schen Gesetze bilden sollten, nenne ich die Anomalie des Auges. Es ist also die Anomalie die Ab-

*) Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik. Leipzig. 1863. Pag. 224.

**) Beiträge zur Physiologie von Dr. med. Eduard Hering. Viertes Heft. Pag. 263 u. Fünftes Heft. Pag. 347.

weichung des Auges vom Listing'schen Gesetz. Ein Beobachter, dessen Auge diesem Gesetze folgt, wird nun von der Primärstellung aus die Doppelbilder zweier horizontaler Linien, die um die Entfernung der Knotenpunkte seiner Augen von einander abstehen, als eine gerade horizontale Linie erblicken, wenn der Netzhauthorizont mit den horizontalen Trennungslinien, wie bei Helmholtz, zusammenfällt. Es ist aber, wie schon erwähnt, nicht nothwendig, dass der Winkel, den die horizontalen Trennungslinien in der Primärlage miteinander bilden = 0 ist, und es können daher auch die Doppelbilder der horizontalen Linien unter einem Winkel erscheinen. Zieht man aber die Linien den horizontalen Trennungslinien parallel, so werden ihre Doppelbilder auf die horizontalen Trennungslinien fallen, und als eine gerade Linie wahrgenommen werden. Zwei so gezogene Linien müssen nun nach dem Listing'schen Gesetz auch in allen Stellungen der Augen, bei denen nur die Erhebung oder Senkung ausgeführt, die Innenwendung also unverändert gelassen ist, ebenfalls eine gerade horizontale Linie zu bilden scheinen. Ich werde in Folgendem die Linien, deren Doppelbilder in der Primärlage als eine gerade horizontale Linie erscheinen, des kürzeren Ausdrucks wegen, horizontal nennen, wenn wir auch wissen, dass sie für einige Augen nicht vollkommen horizontal sind.

Jetzt wollen wir den Fall betrachten, in dem die Augen dem Listing'schen Gesetze nicht folgen. Bringen wir nun die Doppelbilder derselben horizontalen Linien bei einer bestimmten Erhebung der Augen zur Vereinigung, dann werden sie nicht mehr eine gerade Linie, sondern einen Winkel zu bilden scheinen, die horizontalen Trennungslinien werden nicht mehr mit der Visirebene zusammenfallen, es wird im Gegentheil die horizontale Trennungslinie eines jeden Auges einen Winkel mit der Visirebene bilden. Könnte ich diese Winkel

messen, dann hätte ich für eine bestimmte Stellung der Gesichtslinie die Anomalie gefunden und somit das Problem der Augenbewegung für diesen einen Fall gelöst. Nun kann ich zwar nicht die Anomalie für jedes Auge allein, aber ich kann mit Leichtigkeit die Summe der Anomalien beider Augen finden. Ich werde von den beiden horizontalen Linien, die ich beobachte, die eine nur so weit zu neigen oder zu heben haben, dass die Doppelbilder wieder eine gerade Linie zu bilden scheinen. Es wird dann der Winkel, den jetzt die beiden Linien bilden, gleich dem Winkel sein, den die Doppelbilder dieser Linien in ihrer horizontalen Lage zu bilden schienen, und das ist die Summe der Anomalien beider Augen.

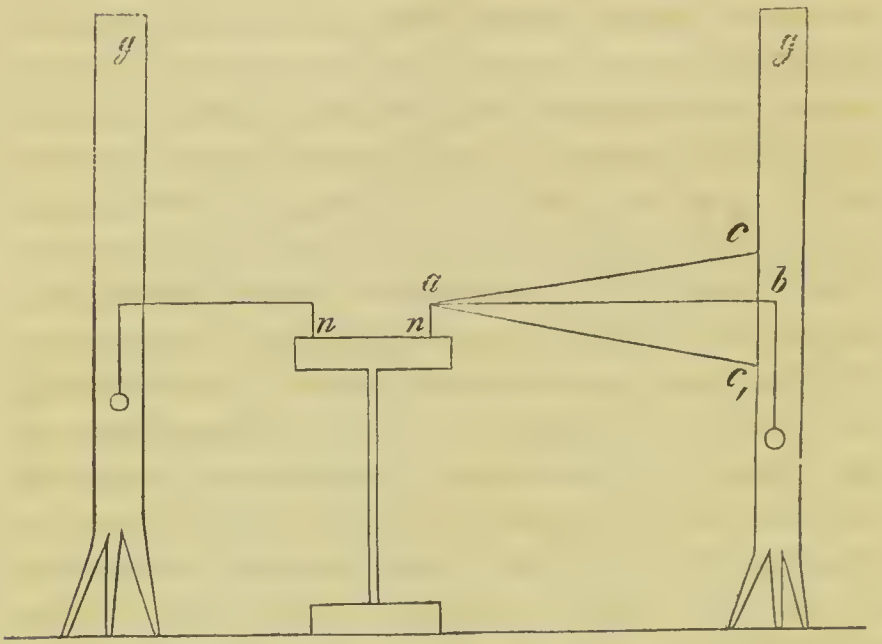
Aber wenn nun auch die eine der beiden horizontalen Linien so geneigt ist, dass die Doppelbilder als eine gerade Linie erscheinen, so würden doch noch nicht die horizontalen Trennungslinien mit der Visirebene zusammenfallen. Wollte ich dieses erreichen, dann müsste ich jede der beiden horizontalen Linien um die Hälfte des Winkels neigen, um den ich nur die eine Linie verschoben habe, vorausgesetzt, dass jedes der beiden Augen eine gleiche Anomalie zeigt.

Es kommt nun darauf an, die Messungen der Winkel für die Erhebung der Augen und die dazu gehörige Anomalie wirklich auszuführen.

Da es mir anfangs schwer wurde ein Objekt in der Entfernung meiner Sehweite von circa 10 Zoll mit parallelen Gesichtslinien zu betrachten, so habe ich an Stelle der Linien horizontal ausgespannte Seidenfäden zur Beobachtung benutzt. Ich konnte dann einen fernen Punkt am gegenüberliegenden Hause fixiren, und war so im Stande, die Dopelbilder mit Leichtigkeit zur Vereinigung zu bringen. Die Fäden (Fig. 3) waren in Nadeln n eingefädelt, welche ich in einen kleinen Klotz h eingekeilt hatte, der in der Höhe meiner Augen befestigt

war. Die beiden anderen Enden der Fäden wurden an zwei Gestellen von Holz (g) befestigt, und zwar dadurch, dass ich Nadeln in dieselben steckte und über sie die

Fig. 3.



Fäden zog, welche durch kleine Gewichte in gleicher Spannung gehalten wurden. Damit diese Gestelle sich nicht auf dem Tische verschieben konnten, wurden sie an ihm festgenagelt. An dem rechts stehenden Gestell wurde nun zuerst der Punkt b verzeichnet, in den die Nadel gesteckt werden musste, damit die Fäden in eine horizontale Lage kamen. Von diesem Punkte b aus wurde dann die Verschiebung des Fadens aus der Horizontalen nach Millimetern gemessen und die Zahlen negativ gerechnet, wenn der Faden über b, z. B. nach c gezogen war. Die Entfernung der beiden Nadeln n von einander machte ich gleich der Entfernung der Knotenpunkte meiner Augen = 64 Millimeter. Die Länge des Fadens ab betrug 710 Millimeter. War nun für eine bestimmte Kopfneigung der Faden in c befestigt, so war

Die Differenz ist also gleich dem Winkel d, um welchen der verticale und der horizontale Meridian von einem Rechten abweicht. Wir kommen auf diesen Punkt später noch einmal zurück und gehen jetzt zu den Versuchen mit convergentem Blick über.

Zur Beobachtung wurde wieder ein Faden benutzt, der durch das Oehr einer Nadel nach beiden Seiten horizontal ausgespannt war. Das Oehr der Nadel wurde fixirt, die Entfernung der Nasenwurzel bis zur Nadel betrug 220 Millim., und da die Entfernung der Knotenpunkte meiner Augen = 64 Millim. ist, so war Tg. $\alpha = \frac{23}{220}$ und $\alpha = 8^0\ 16'\ 33''$, wo α den Winkel für die Convergenz eines Auges bedeutet. Von der Nasenwurzel bis zur Nadel war eine Scheidewand von dünner Pappe aufgestellt, so dass ich mit dem rechten Auge nur den Theil des Fadens rechts von der Nadel sehen konnte. Ohne Scheidewand schien der horizontale Faden für stärkere Erhebungen ein Kreuz zu bilden, und wäre daher der Winkel, den der Faden scheinbar bildete, schwer messbar gewesen.

Die Kopfneigung maass ich wieder mit meinem Winkelmesser, indem ich aus 10 Beobachtungen den Mittelwerth nahm und berechnete daraus die Zahlen der folgenden Tabelle. —

Tabelle IV.

bc	Winkel, den die Fäden bildeten = x	Winkel für die Kopfneigung y	Scheinbare Anomalie = r
+ 60	+ 4° 49′ 49″	+ 30°8	+ 2° 24′ 54″
+ 50	+ 4° 1′ 42″	+ 29°1	+ 2° 0′ 51″
+ 40	+ 3° 13′ 28″	+ 25°9	+ 1° 36′ 44″
+ 30	+ 2° 25′ 10″	+ 22°4	+ 1° 12′ 35″
+ 20	+ 1° 36′ 48″	+ 18°2	+ 0° 48′ 24″
+ 10	+ 0° 48′ 25″	+ 10°9	+ 0° 24′ 12″
+ 8	+ 0° 38′ 36″	+ 0°0	+ 0° 19′ 18″
0	0° 0′ 0″	— 12°2	0° 0′ 0″
— 10	— 0° 48′ 25″	— 49°8	— 0° 24′ 12″

In dieser Tabelle ist der Winkel x, also auch r (dann $x = 2r$) noch mit einem Fehler behaftet, der erst corrigirt werden muss, bevor diese Tabelle zur Vergleichung mit der ersten geeignet ist. Der Winkel x liegt nämlich nicht in einer Ebene, welche senkrecht zur Gesichtslinie steht, wir müssen ihn also auf diese Ebene projiciren, und dann seine Grösse berechnen. Unter der schon wiederholt gemachten Annahme, dass für diese Stellungen der Augen die Anomalie für jedes Auge gleich ist, werde ich die Projection von $\frac{x}{2}$ oder r berechnen. Diese Projection findet man leicht. Legt man durch das Auge und durch die beiden Schenkel des Winkels Ebenen, so schneiden sich diese in einer Kante, welche die Verbindungslinie zwischen dem Auge und dem Scheitelpunkte des Winkels, also unsere Gesichtslinie ist. Eine durch diese Kante normal gelegte Ebene wird von den beiden ersten Ebenen in zwei Linien geschnitten, welche einen Winkel bilden, der die gesuchte Projection ist. Dieser Winkel ist aber der Neigungswinkel der beiden Ebenen, und so kann man auch kurz sagen. Die Projection eines Winkels ist gleich dem Neigungswinkel der beiden Ebenen, die durch das Auge und durch je einen Schenkel des gegebenen Winkels gelegt werden. In diesem Falle Falle wurde also F. (Fig. 5) fixirt.

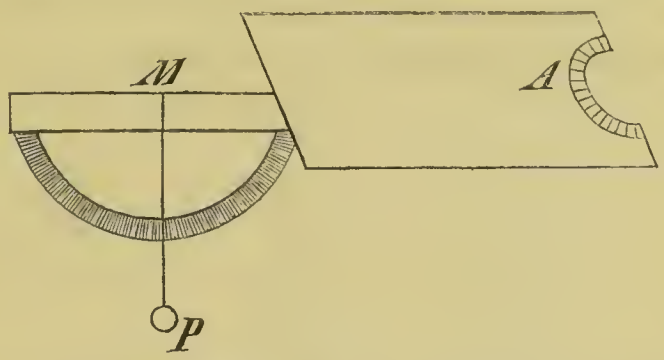
Die Gesichtslinie A und die beobachtete Linie B liegen in einer Ebene, hier in der Ebene des Papiers. Die Linie C liegt dagegen in einer Ebene, die senkrecht zur Ebene des Papiers steht. Die Linien C und B bildeten mit einander den Winkel r, der in der Tabelle verzeichnet ist, und es soll die Projection dieses Winkels, also der Neigungswinkel zwischen den beiden Ebenen, die durch das Ange O und durch die horizontale Linie einerseits, und durch O und die Linie C andrerseits gelegt waren, berechnet werden. Dazu denke ich mir F als den

Tg. $bac = \frac{bc}{ab}$, bc konnte direkt gemessen werden und ab war 710 Millimeter lang. So fand ich also den Winkel, den die Fäden mit einander bildeten, oder die Summe der Anomalien beider Augen für eine bestimmte Kopfneigung.

Ich muss nun noch beschreiben, wie ich den Winkel für die Erhebung der Augen bestimmte.

Dazu benutzte ich ein kleines Instrument, das in Fig. 4 abgebildet ist.

Fig. 4.



An einem Brettchen von der Gestalt eines Rechtecks ist an einem Ende ein Ausschnitt A gemacht, der den Zahnreihen meines Mundes entspricht, in der Mitte des andern Endes ist ein Transporteur vertical auf der Ebene des Brettchens befestigt. An dem Transporteur ist ein kleines Loth MP in der Mitte desselben angebracht. Die Ränder des Ausschnittes A werden auf beiden Seiten mit einem Halbringe von Siegellack bedeckt, in welchem man beim Erkalten des Lackes seine Zähne einbeissen kann, wodurch man einen Abdruck derselben erhält. Ist der Siegellack vollkommen erhärtet, so sichert dieser Abdruck die Lage des Brettchens zwischen den Zähnen zum Kopfe, wie man denselben auch heben oder senken mag. Man sieht nun leicht, dass bei einer horizontalen

Lage des Brettchens das Loth auf 90° zeigen wird. Um mich hiervon auch experimentell zu überzeugen, stellte ich das Brettchen mit Hülfe einer Libelle horizontal, und konnte dann sehen, dass das Loth am Transporteur gerade auf 90° zeigte. Für jede Neigung des Brettchens ist denn der Winkel dieser Neigung leicht am Transporteur abzulesen.

Zuerst musste ich nun die Neigung des Brettchens, welches ich zwischen den Zähnen hielt, für meine Primärlage bestimmen. Um zufälligen Beobachtungsfehlern so wenig wie möglich ausgesetzt zu sein, habe ich zu jeder Winkelmessung 10 Versuche angestellt und aus diesen den Mittelwerth genommen.

Die Primärlage suchte ich mit Hülfe von Nachbildern auf und erhielt für die Neigung des Brettchens in derselben

$$
\begin{array}{r}
+\ 57^{0} \\
+\ 58^{0} \\
+\ 58^{0} \\
+\ 54^{0} \\
+\ 55^{0} \\
+\ 56^{0} \\
+\ 54^{0} \\
+\ 55^{0} \\
+\ 56^{0} \\
+\ 55^{0} \\
\hline
\text{Mittelwerth } +\ 55\ 8
\end{array}
$$

$$90^{0} - 55^{0}\,8 = 34^{0}\,2$$

Das Brettchen meines Winkelmessers ist also um 34°2 bei der Primärlage meiner Augen geneigt, und musste dieser Winkel von 34°2 stets in Abzug kommen, wenn ich die Winkel für eine Kopfneigung ermitteln wollte.

Die Neigung des Kopfes, also den Blick nach oben habe ich positiv genommen, die Erhebung des Kopfes und den gesenkten Blick also negativ. Um sicher zu sein, dass ich bei meinen Versuchen immer in senkrechter Richtung auf die Fäden sah, markirte ich einen Punkt an den Fensterscheiben in der Höhe meiner Augen, und benutzte diesen als Visirzeichen. War der Punkt nach

oben verrückt, so wusste ich, dass ich den Kopf zu tief hielt, und konnte so stets die Controlle über die Haltung meines Kopfes ausüben.

Nachdem ich nun die Methode, nach der ich experimentirt, beschrieben habe, lasse ich die gefundenen Zahlen folgen. Nenne ich den Winkel, welchen die Fäden bilden, kurz x, so ist Tg. $x = \frac{bc}{ab}$

Der Winkel, welchen ich bei den Kopfneigungen direkt am Winkelmesser ablese, sei w, denn ist $90 - w$ die Neigung des Instrumentes aus der Horizontalen und ziehe ich von $90 - w$ noch $34^{\circ}2$ ab, so erhalte ich den wahren Werth für die Kopfneigung, er sei y.

bc = + 100 Mm.	bc = + 90 Mm.	bc = + 80 Mm.	bc = + 70 Mm.
w = + 26	w = + 28	w = + 30	w = + 30
+ 26	+ 27	+ 28	+ 29
+ 26	+ 26	+ 31	+ 30
+ 25	+ 27	+ 29	+ 30
+ 25	+ 27	+ 27	+ 30
+ 26	+ 27	+ 30	+ 30
+ 25	+ 28	+ 30	+ 29
+ 25	+ 29	+ 29	+ 30
+ 25	+ 28	+ 30	+ 29
+ 26	+ 26	+ 28	± 30
Mittel + 25°5	w = + 27°3	w = + 29°2	w = + 29°7
90 — w = 64°5	90 — w = + 62°7	90 — w = + 60°8	90 — w = + 60°3
— 34°2	— 34°2	— 34°2	— 34°2
y = + 30°3	y = + 28°5	y = + 26°6	y = + 26°1

bc = + 60 Mm.	bc = + 50 Mm.	bc = + 40 Mm.	bc = + 30 Mm.
w = + 31°	w = + 33°	w = + 34°	w = + 36
+ 31	+ 33	+ 36	+ 35
+ 29	+ 33	+ 33	+ 38
+ 32	+ 32	+ 32	+ 37
+ 28	+ 32	+ 32	+ 38
+ 29	+ 31	+ 33	+ 38
+ 30	+ 32	+ 33	+ 37
+ 30	+ 32	+ 34	+ 35
+ 30	+ 33	+ 36	+ 35
+ 30	+ 32	+ 35	+ 37
w = + 30°0	w = + 27°3	w = + 33°8	w = + 36°6
90 — w = + 60°0	90 — w = + 57°7	90 — w = + 56°2	90 — w = + 53°4
— 34°2	— 34°3	— 34°2	— 34°2
y = + 25°8	y = + 23°5	y = + 22°0	y = + 19°2

bc = + 20 Mm.	bc = + 19 Mm.	bc = + 18 Mm.	bc = + 17 Mm.
w = + 38	w = + 50°	w = + 51	w = + 46
+ 38	+ 48	+ 54	+ 57
+ 34	+ 45	+ 56	+ 45
+ 39	+ 48	+ 58	+ 53
+ 37	+ 45	+ 53	+ 53
+ 40	+ 46	+ 47	+ 45
+ 38	+ 48	+ 52	+ 60
+ 38	+ 48	+ 50	+ 59
+ 38	+ 44	+ 51	+ 58
+ 40	+ 47	+ 52	+ 58
w = + 28°0	w = + 46°9	w = + 52°4	w = + 53°4
90 — w = + 52°0	90 — w = + 43°1	90 — w = + 37°6	90 — w = + 36°6
— 34°2	— 34°2	— 34°2	— 34°2
y = + 17°8	y = + 8°9	y = + 3°4	y = + 2°4

bc = + 16 Mm.	bc = + 15 Mm.	bc = + 10 Mm		bc = 0 Mm.
w = + 54°	w = + 54	w = — 89	90 — w = — 1	w = — 80
+ 52	+ 55	— 88	— 2	— 88
+ 60	+ 56	— 85	— 5	— 90
+ 55	+ 56	+ 86	+ 4	— 89
+ 65	+ 51	+ 87	+ 8	— 86
+ 61	+ 57	— 87	— 3	— 80
+ 42	+ 65	— 86	— 4	— 83
+ 62	+ 67	+ 87	+ 3	— 84
+ 55	+ 67	— 87	— 3	— 86
+ 52	+ 45	— 89	— 1	— 86
w = + 55°8	w = + 57°3	90 — w = — 0°9		w = — 85°2
90 — w = 34°2	90 — w = + 32°7	— 34°2		90 — w = — 4°8
— 34°2	— 34°2			— 34°2
y = 0°0	y = — 1°5	y = — 35°1		y = — 39°0

bc = — 5 Mm.	bc = — 10 Mm.	bc = — 20 Mm.	bc = — 30 Mm.
w = — 80	w = — 77	w = — 74	w = — 72
— 78	— 76	— 72	— 70
— 79	— 73	— 73	— 79
— 78	— 75	— 72	— 68
— 79	— 72	— 71	— 72
— 78	— 75	— 72	— 70
— 80	— 75	— 73	— 70
— 81	— 73	— 71	— 73
— 81	— 75	— 70	— 68
— 80	— 72	— 70	— 71
w = — 79°4	w = — 73°3	w = — 71°8	w = — 70°4
90 — w = 10°7	90 — w = — 15°7	90 — w = — 18°2	90 — w = — 19°6
— 34°2	— 34°2	— 34°2	— 34°2
y = — 44°8	y = — 49°9	y = — 52°4	y = — 53°8

bc = — 40 Mm.	bc = — 50 Mm.
w = — 71	w = — 69
— 69	— 67
— 70	— 68
— 69	— 69
— 69	— 69
— 69	— 68
— 69	— 66
— 68	— 68
— 69	— 66
— 71	— 68
w = — 69°9	w = — 68°8
— 20°6	90 — w = — 21°2
— 34°2	— 34°2
y = — 54°8	y = — 55°

Für jede Zahl von b c habe ich noch den entsprechenden Winkel x nach der Gleichung Tg. $x = \frac{b\,c}{a\,b}$ zu berechnen, und kann dann folgende Tabelle aufstellen.

Tabelle I.

bc	Winkel, den die Fäden bilden = x	Winkel für die Kopfneigung = y	Anomalie = r
+ 100	+ 8° 1′ 11″	+ 30°3	+ 4° 0′ 30″
+ 90	+ 7° 13′ 27″	+ 28°5	+ 3° 36′ 43″
+ 80	+ 6° 25′ 43″	+ 26°6	+ 3° 15′ 51″
+ 70	+ 5° 37′ 50″	+ 26°1	+ 2° 48′ 55″
+ 60	+ 4° 49′ 46″	+ 25°8	+ 2° 24′ 54″
+ 50	+ 4° 1′ 42″	+ 23°5	+ 2° 0′ 51″
+ 40	+ 3° 13′ 28″	+ 22°0	+ 1° 36′ 44″
+ 30	+ 2° 25′ 10″	+ 19°2	+ 1° 12′ 35″
+ 20	+ 1° 36′ 48″	+ 17°8	+ 0° 48′ 24″
+ 19	+ 1° 31′ 58″	+ 8°9	+ 0° 45′ 59″
+ 18	+ 1° 27′ 9″	+ 3°4	+ 0° 43′ 34″
+ 17	+ 1° 21′ 19″	+ 2°4	+ 0° 41′ 9″
+ 16	+ 1° 14′ 25″	0°	+ 0 38′ 43″
+ 15	+ 1° 12′ 37″	— 1°5	+ 0° 36′ 18″
+ 10	+ 0° 48′ 25″	— 35°1	+ 0° 24′ 12″
+ 0	0° 0′ 0″	— 39°0	— 0° 0′ 0″
— 5	— 0° 24′ 14″	— 44°8	— 0° 11′ 7″
— 10	— 0° 48′ 25″	— 49°9	— 0° 24′ 12″
— 20	— 1° 36′ 48″	— 52°4	— 0° 48′ 24″
— 30	— 2° 25′ 10″	— 53°8	— 1° 12′ 35″
— 40	— 4° 13′ 28″	— 54°8	— 1° 36′ 44″
— 50	— 4° 1′ 42″	— 55°4	— 2° 0′ 21″

Werfen wir jetzt zuerst einen Blick auf die Zahlen für die Kopfneigung, aus denen der Mittelwerth genommen

wurde, so finden wir, dass sie eine grosse Uebereinstimmung zeigen, so lange die Fäden einen irgend erheblichen Winkel mit einander bilden. Nähert sich dieser Winkel aber der Null, so weichen diese Zahlen bedeutend von einander ab, wie es alle Reihen von b c = + 18 bis b c = — 5 zeigen. Diese starke Abweichung der Zahlen von einander ist ein deutliches Zeichen davon, dass hier ein Unterschied in der Kopfneigung um einige Grade auf die Stellung der Doppelbilder keinen merklichen Einfluss ausübt.

In der aufgestellten Tabelle finden wir noch interessantere Resulte. Was die 4 Spalten der Tabelle bedeuten, ist wohl durch die Ueberschrift klar, über die 4. Spalte mit Anomalie = r überschrieben, habe ich nur zu bemerken, dass r halb so gross als das entsprechende x gemacht ist unter der schon oben erwähnten Voraussetzung, dass die Anomalie bei diesen Stellungen für beide Augen gleich gross ist.

Es zeigt sich nun zuerst, dass ich den Blick um 39° senken muss, damit die horizontalen Trennungslinien meiner Augen mit der Visirebene zusammenfallen. Erhebe ich dann die Augen immer mehr und mehr bis zum Winkel von 17°8, also um 56°8, so ist die Anomalie nur 0°48′ 24″. Von nun an wächst dieselbe bei fortgesetzter Erhebung der Augen auffallend schneller, denn bei der Erhebung von 30°3 ist die Anomalie + 4° 42′ 6″ gewachsen. Aehnlich verhielt sich ihr Wachsthum bei gesenktem Blick. Es ist demnach die Anomalie kurzsichtiger Augen für die Erhebung und Senkung, welche die gewöhnlichen Beschäftigungen erfordern, sehr unbedeutend, erst an den Grenzen der Erhebung nach beiden Seiten hin erlangt sie ein rapides Wachsthum. —

Wir haben jetzt noch den Sinn der Anomalie zu untersuchen, wobei ich nur daran erinnern will, dass das Bild auf der Netzhaut die umgekehrte Lage, als das

Objekt hat. Erscheint uns also der horizontale Faden nach oben und aussen gelegen, so weiss ich, dass er sich im Auge unten und innen abgebildet hat, dass also die Visirebene einen Meridian getroffen hat, dessen innerer Theil unter dem Netzhauthorizonte liegt, und dass das Auge dabei eine Drehung gemacht hat, bei welcher die äussere Seite nach unten gerichtet ist. Diese Drehung wollen wir positiv rechnen, und habe ich dem entsprechend b c positiv genommen, wenn die Doppelbilder nach oben zu divergirten, und b c unter a b befestigt werden musste, damit sie wieder als eine Horizontale erschienen.

Die Tabelle lehrt uns nun, dass die Anomalie nicht nur bei der Erhebung der Augen positiv ist, sondern dass sie auch bei der Senkung der Augen bis zu — 39° positiv bleibt. Wird die Senkung noch stärker, so geht die Anomalie durch Null und wird negativ, die Aussenseite des Auges also nach oben gerichtet.

Eine zweite Reihe von Messungen der Anomalien für parallele Sehlinien machte ich bei Seitenstellungen des Kopfes. Nach dem Listing'schen Gesetze darf auch hier keine Raddrehung bemerkbar sein. Es ist bei diesen Versuchen natürlich nothwendig, die Entfernung der beiden Nadeln, durch welche die Fäden gezogen sind, entsprechend kleiner zu machen. Ist D der Winkel, um welchen der Kopf zur Seite gedreht wird, E die Entfernung der Nadeln, und 64 Millimeter die Distance der Knotenpunkt der Augen, so muss $E = 64 \cos D$ gemacht werden, damit die Doppelbilder der beiden Fäden zur Vereinigung gebracht werden können. Es waren nun die Nadeln um 60,141 Millim. von einander entfernt. Diese Entfernung entsprach einer Seitwärtsdrehung um 20°. Dreht man den Kopf um mehr als 20° zur Seite, so können die Doppelbilder der Fäden nicht mehr zur Vereinigung kommen, bei einer geringern Drehung als um 20° müssen

sich die Doppelbilder dagegen kreuzen, und so kann man bei einiger Uebung die Gesichtslinien parallel zu stellen, leicht die richtige Seitwärtsstellung ermitteln und während einer Beobachtung festhalten. — Den Winkel für die Kopfneigung fand ich wieder aus dem Mittelwerthe von 10 Beobachtungen, die ich hier mitzutheilen für überflüssig halte. Folgende Tabelle enhält die gewonnenen Resultate. —

Tabelle II.

Seitwärtsdrehung des Kopfes um 20°.

bc	Winkel, den die Fäden bilden, = x	Winkel für die Kopfneigung = y bei Seitwärtsdrehung des Kopfes		Anomalie = r
		a) nach links	b) nach rechts	
+ 50	+ 4° 1′ 42″	+ 24°9	+ 27°4	+ 2° 0′ 51″
+ 40	+ 3° 13′ 28″	+ 22°7	+ 25°4	+ 1° 36′ 44″
+ 30	+ 2° 25′ 10″	+ 19°6	+ 23 1	+ 1° 12′ 35″
+ 20	+ 1° 36′ 48″	+ 12°7	+ 14°5	+ 0° 48′ 24″
+ 10	+ 0° 48′ 25″	− 33°8	− 43°6	+ 0° 24′ 12″
+ 0	+ 0° 0′ 0″	− 41°9	− 47°6	0° 0′ 0″
− 10	− 0° 48′ 25″	− 47°6	− 50°0	− 0° 24′ 12″

Bevor ich eine Vergleichung dieser Tabelle mit der ersten anstelle, will ich noch eine dritte Tabelle für eine Reihe von Beobachtungen hinstellen, bei welcher die Distance der Nadeln von einander 50 Millim., die Seitwärtsdrehung des Kopfes demgemäss 38° 37′ 30″ betrug.

Tabelle III.

Seitwärtsdrehung des Kopfes um 38° 37′ 36″.

bc	Winkel, den die Fäden bilden = x	Winkel für die Kopfneigung = y		Anomalie = r
		bei Seitwärtsdrehung des Kopfes		
		a) nach links	b) nach rechts	
+ 50	+ 4° 1′ 42″	+ 24	+ 24°3	+ 2° 0′ 51″
+ 40	+ 3° 13′ 28″	+ 21°7	+ 22°4	+ 1° 36′ 44″
+ 30	+ 2° 25′ 10″	+ 18°3	+ 18°9	+ 1° 12′ 35″
+ 20	+ 1° 36′ 48″	+ 15°5	+ 10°4	+ 0° 48′ 24″
+ 10	0° 48′ 25″	− 13°7	− 32°1	0° 0′ 0″
+ 0	− 0° 0′ 0″	− 33°5	− 42°0	− 0° 24′ 12″

Die zweite Tabelle zeigt uns mit grosser Regelmässigkeit, dass bei den Seitenstellungen des Kopfes die gemessenen Anomalien nach beiden Seiten der Erhebung der Augen hin, grösser sind als bei der Stellung des Kopfes gerade nach vorn und dass von den Seitenstellungen, die nach rechts, bei welcher der Blick also nach links gerichtet ist, eine stärkere Anomalie zur Folge hat. Die 3. Tabelle zeigt im Allgemeinen dasselbe, als die 2. Tabelle, nur wird die Regelmässigkeit der Erscheinug vermisst, was wohl seinen Grund darin haben mag, dass Seitwärtsdrehungen der Augen um mehr als 38° schon sehr gezwungen sind, die beim gewöhnlichen Sehen nicht leicht vorkommen. Bei sölchen gezwungenen und ungewohnten Stellungen der Augen ist aber die Gesetzmässigkeit der Bewegung nicht mehr in aller Strenge vorhanden.

Es kann auffallend erscheinen, dass die Beobachtungen für die stärkern Kopfneigungen, welche nach der 1. Tabelle zu schliessen, die grössten Anomalien zu geben versprechen, hier fehlen. Das liegt aber einfach daran, dass sich die Doppelbilder bei stärkern Erhebun-

gen, als sie verzeichnet sind, zu überkreuzen anfingen, woraus man auf eine Divergenz der Sehlinien schliessen muss. Bei stärker gesenktem Blick liessen sich die Beobachtungen aber darum nicht ausführen, weil hierbei der eine Faden durch die Nasenspitze verdeckt wurde.

Ich muss hier noch auf eine Erscheinung aufmerksam machen, die leicht die Veranlassung zu Beobachtungsfehlern werden kann. Wenn man längere Zeit die Augen nach unten gerichtet hat, und dann bei derselben Kopfneigung die Fäden betrachtet, bei welcher man sie so gerichtet hatte, dass ihre Doppelbilder eine gerade Linie zu bilden schienen, so machen sie anfangs wieder einen Winkel, dessen Schenkel nach oben zu convergiren scheinen, erst allmälig schwindet dieser Winkel, und man sieht dann wieder nur eine gerade Linie. Man sieht daraus, dass die Regelmässigkeit der Raddrehung unter der Anstrengung der Muskeln leidet, und dass die Beobachtungen der Doppelbilder aus der Gleichgewichtslage und nicht mit ermüdeten Augen zu machen sind.

In ganz derselben Weise, als ich die Doppelbilder von horizontalen Fäden zur Messung der Anomalie benutzte, habe ich es auch mit den Doppelbildern verticaler Fäden gethan. Die horizontale Entfernung der Nadeln, durch welche die Fäden gezogen waren, betrug wieder 64 Millim. Durch das Oehr einer Nadel war ein Faden vertical nach oben gezogen, an dem Oehr der 2. Nadel hing ein Faden vermittelst eines Gewichts vertical herab. Um nun nicht mit jedem Athemzug eine pendelnde Bewegung dieses 2. Fadens zu erregen, tauchte das Gewicht in ein Glas mit Oel ein. Durch Doppelbilder konnten diese beiden vertical ausgespannten Fäden wieder zur Vereinigung gebracht und der Winkel, den sie zu bilden scheinen, auf dieselbe Weise, wie es bei den horizontalen Fäden geschah, gemessen werden. Die Zahlen, welche nun gefunden wurden, stimmen sehr nahe mit denen in

der 1. Tabelle überein, wie es a priori anzunehmen war, doch ist eine Abweichung durchgängig vorhanden, die Anomalie ist hier nämlich stets etwas grösser als dort. Bei dem kleinen Unterschied in den Winkeln schienen mir noch modificirte Versuche nothwendig, um sicher zu sein, dass die gefundene Abweichung nicht auf Beobachtungsfehler zu schieben sei, und so suchte ich bei ein und derselben Kopfstellung schnell hintereinander Doppelbilder horizontaler und dann verticaler Fäden zu vereinigen, und den Winkel, den sie scheinbar bildeten, zu messen.

Die Fixation des Kopfes führte ich dadurch aus, dass ich ein Brettchen, wie es zu meinem Winkelmesser benutzt wurde, in ein eisernes Stativ einschrob, und das Brettchen dann zwischen meinen Zähnen hielt. Die Stirne war ausserdem noch dadurch fixirt, dass ich sie gegen einen Stab, der am Stativ befestigt war, lehnte.

Dabei war die Entfernung, welche ich ab genannt habe, sowohl für die verticale als auch für die horizontale Lage des Fadens = 710 Mm. also in beiden Fällen Tg. $x = \frac{bc}{710}$ Ich will hier nur zwei Werthe für den Unterschied (d) der beiden Winkel, um die ich die Fäden bei einer festen Kopfstellung verschieben musste, anführen.

Verschiebung des verticalen Fadens 35 Mm.
„ „ horizontalen „ 27 „
Differenz 8 Mm.

$$\text{Tg. } d = \frac{8}{710}, \quad d = 0^{\circ}\ 38'\ 44''$$

Bei einer andern fixirten Kopfstellung fand ich die Verschiebung des verticalen Fadens 26 Mm.
„ „ horizontalen „ 21 „
Differenz 5 Mm.

$$\text{Tg. } d = \frac{5}{710}, \quad d = 0^{\circ}\ 24'\ 12''$$

Eine noch genauere Bestimmung des Winkels, welchen die verticalen Meridiane des Auges mit einander bilden, liess sich mit Doppelbildern anstellen, wenn ich anstatt des einen Fadens ein 3 bis 4 Linien breites rothseidenes Band anwandte. Es hingen nun also an einer horizontalen Leiste ein Faden und ein rothes Band durch kleine Gewichte gespannt vertical neben einander, das Doppelbild des Fadens war dann auf dem breiten Bande zu sehen, und konnte mit grösster Genauigkeit parallel mit den Rändern desselben eingestellt werden. Machte ich nun die Beobachtung aus der Primärstellung, so fand ich einmal, dass die Entfernung des Fadens vom Bande oben 87, unten 64 Millim. betrug. Die verticale Entfernung zwischen diesen beiden Punkten war 705 Millim. Nenne ich also den Winkel, den der Faden mit dem Bande bildete, x, so war Tg. $x = \frac{87-64}{705} = \frac{23}{705}$ also $x = 1^\circ\ 52'\ 17''$.

Ein zweiter Versuch ergab mir folgende Zahlen

Die Entfernung oben 83 Mm.
„ „ unten 58 „
Differenz 25 Mm.

$$\text{Tg. } x = \frac{25}{705} \text{ also } x = 2^\circ\ 1'\ 51''$$

Nehme ich nun aus der ersten Tabelle den Winkel, welchen die horizontalen Fäden bei der Erhebung der Augen = 0 mit einander bildeten, er beträgt $1^\circ\ 17'\ 26''$ und ziehe ihn von den zuletzt gefundenen Winkeln ab, so erhalte ich einmal

$1^\circ\ 52'\ 17''$
$1^\circ\ 17'\ 26''$
$0^\circ\ 34'\ 51''$ nach der andern Beobachtung

$2^\circ\ 1'\ 51''$
$1^\circ\ 17'\ 26''$
$0^\circ\ 44'\ 25''$

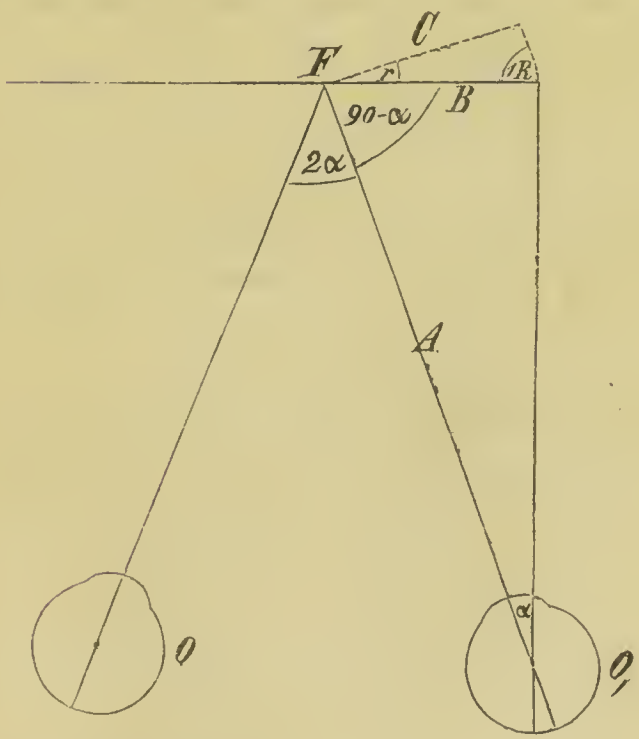
Mittelpunkt einer Kugel von beliebigem Radius. Wo die drei durch AB, BC und CA gelegten Ebenen die Oberfläche der Kugel schneiden, entsteht ein sphärisches Dreieck, von dem mir 2 Seiten und der eingeschlossene Winkel bekannt sind. Die beiden Seiten sind r und $90 - \alpha$ und der eingeschlossene Winkel ist 1 R, denn die Ebene BC steht auf der Ebene AB senkrecht. Nach einem bekannten Satz der sphärischen Trigonometrie ist aber Cotg. A = Cotg. a sin b, wenn a, b und der eingeschlossene Winkel C = 1 R gegeben sind. Bezeichne ich mit r_1 den gesuchten Neigungswinkel, dann ist also

$$\text{Cotg. } r_1 = \text{Cotg. r. sin } (90 - \alpha)$$

$$\text{Cotg. } r_1 = \text{Cotg. r. cos } \alpha.$$

$$\text{Tg. } r_1 = \frac{\text{Tg. r}}{\cos \alpha}$$

Fig. b.



Aber auch dieser Winkel r_1 kann noch nicht mit dem dem Winkel für die Anomalie in der ersten Tabelle verglichen werden. Es muss mit diesem Winkel noch eine 2. Correctur vorgenommen werden, die darin besteht, dass der Winkel in Abzug gebracht wird, welchen die horizontale Trennungslinie mit der Visirebene in Folge der Erhebung und Convergenz an und für sich schon bildet, selbst wenn das Auge dem Listing'schen Gesetze folgte. Nenne ich diesen Winkel γ, den Winkel für die Convergenz eines Auges α und den Winkel der Erhebung y, so ist, wie Helmholtz*) in dem mathematischen Anhang seiner Arbeit bewiesen hat

$$-\text{Tg. } \gamma = \frac{\sin \alpha . \sin y}{\cos \alpha + \cos y}$$

Es lässt sich nun jede trigonometrische Funktion rationell durch die Tangente des halben Winkels ausdrücken. Thue ich das in der Formel, so wird sie für die Rechnung etwas bequemer. Nach bekannten Formeln der Trigonometrie ist:

$$\sin x = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}$$

$$\sin \frac{x}{2} = \frac{\text{tg. } \frac{\alpha}{2}}{\sqrt{1+\text{tg.}^2 \frac{\alpha}{2}}} \qquad \cos. \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{\sqrt{1+\text{tg.}^2 \frac{\alpha}{2}}}$$

$$\sin \alpha = \frac{2 \text{ tg. } \frac{\alpha}{2}}{1+\text{tg.}^2 \frac{\alpha}{2}} \qquad \cos. \alpha = \frac{1-\text{tg.}^2 \frac{\alpha}{2}}{1+\text{tg.}^2 \frac{\alpha}{2}}$$

$$\text{tg. } \gamma = \frac{2 \text{ tg. } \frac{\gamma}{2}}{1-\text{tg.}^2 \frac{\gamma}{2}}$$

*) Dieses Archiv Bd. 9. Abth. II. Seite 210. Formel K.

Setze ich nun die Tangente des halben Winkels für die in der folgenden Gleichung enthaltenen Funktionen ein, so erhalte ich für

$$-\text{tg. } \gamma = \frac{\sin \alpha \sin y}{\cos \alpha + \cos y}$$

die Gleichung

$$\frac{2 \text{ tg. } \frac{\gamma}{2}}{1 - \text{tg.}^2 \frac{\gamma}{2}} = \frac{2 \text{ tg. } \frac{\alpha}{2} \text{ tg. } \frac{y}{2}}{1 - \text{tg.}^2 \frac{\gamma}{2} \text{ tg.}^2 \frac{y}{2}}$$

Nun setze ich statt $\text{tg. } \frac{\alpha}{2} \text{ tg. } \frac{y}{2} = -\text{tg. } \frac{n}{2}$

Dann ist:

$$\frac{-2 \text{ tg. } \frac{\gamma}{2}}{1 - \text{tg.}^2 \frac{\gamma}{2}} = \frac{-2 \text{ tg. } \frac{n}{2}}{1 - \text{tg.}^2 \frac{n}{2}}$$

Die beiden Seiten der Gleichung haben aber ganz dieselbe Form, es muss also auch $-\text{tg. } \frac{\alpha}{2} = -\text{tg. } \frac{n}{2}$ sein, und $-\text{tg. } \frac{\gamma}{2} = \text{tg. } \frac{\alpha}{2} \text{ tg. } \frac{y}{2}$.

Berechne ich nach dieser Formel den Winkel γ und ziehe ihn dann von r^1 ab, so erhalte ich den gesuchten Winkel $r^1 - \gamma$, welcher der Anomalie, die in der 1. Tabelle notirt ist, entspricht.

Tabelle V.

bc	Winkel $(r^1 - \gamma)$	Winkel für die Kopfneigung $= y$	$(r^1 - \gamma)$ übertragen in Mm.
+ 60	+ 4° 43′ 25″	+ 30″ 8	+ 58, 66
+ 50	+ 4° 11′ 11″	+ 29° 1	+ 53, 28
+ 40	+ 3° 32′ 7″	+ 25° 9	+ 43, 86
+ 30	+ 2° 51′ 48″	+ 22° 4	+ 35, 51
+ 20	+ 2° 8′ 35″	+ 18″ 2	+ 26, 56
+ 10	+ 1° 11′ 53″	+ 1° 9	+ 14, 84
+ 8	+ 0° 19′ 30″	+ 0° 0	+ 4,027
+ 0	− 0° 53′ 10″	− 12° 2	− 10, 94
− 10	− 3 29′ 23″	− 40° 8	− 43, 29

Vergleichen wir die Anomalien bei convergentem Blick mit denen bei parallelen Gesichtslinien, so finden wir, dass der Sinn der Raddrehung ganz derselbe ist, dass aber die Grösse des Winkels bei convergentem Blick viel grösser als bei parallelen Gesichtslinien ist. Um die gefundenen und in den fünf Tabellen enthaltenen Zahlen leichter mit einander vergleichen zu können, habe ich eine graphische Darstellung derselben versucht, indem ich den Schnittpunkt eines rechtwinkligen Coordinatensystems als Anfangspunkt nahm, auf der Ordinatenaxe die Winkel für die Raddrehung in Längeneinheiten übertragen, notirte, und auf der Abscissenaxe die dazu gehörige Erhebung der Augen antrug. So erhielt ich für jede Versuchsreihe eine Curve, siehe Tafel Fig. 1.

Die ausgezogene Curve A A gibt das Bild für die Anomalien bei parallelem Blick in der Richtung gerade aus, die zweite ebenfalls ausgezogene Curve B B stellt die Anomalien dar, welche bei Convergenz des Blickes um 8 16′ 33″ für jedes Auge auftreten. Die beiden andern mit A A fast zusammenfallenden Curven enthalten die Anomalien für parallelen Blick bei Seitwärtsdrehung des Kopfes um 20°, und zwar gilt die punktirte Curve für die Drehung des Kopfes nach links, die gestrichelte Curve für die Drehung des Kopfes nach rechts. Um die Zeichnung nicht noch durch mehr Linien zu verwirren, habe ich die Curven für die Seitwärtsdrehung des Kopfes um 38°, die an einzelnen Stellen auch sehr nahe mit der Linie A A zusammenfallen würden, nicht verzeichnet.

Bei der Methode der Untersuchung mit Doppelbildern war es, wie schon mehrfach in der Arbeit erwähnt, unmöglich die Raddrehung eines jeden Auges für sich allein zu finden.

Die Methode mit Nachbildern zu experimentiren hat nun diesen Nachtheil nicht, man kann nach ihr die Bewegung jedes Auges für sich allein beobachten, aber es

ist die Genauigkeit, mit der man die Winkel der Raddrehung messen kann viel geringer, als bei der Methode mit Doppelbildern.

Was nun die Ausführung meiner Versuche betrifft, so hatte ich über eine grosse quadratische Tafel, deren Seite circa 120 Centimeter lang war, graues Papier ausgespannt und in der Mitte der Tafel einen farbigen Papierstreifen durch einen Stift so befestigt, dass ich diesen Streifen um den Stift als Mittelpunkt drehen konnte. Der Streifen enthielt zwei Farben, Roth und Grün. Das Grün war so gewählt, dass es so nahe wie möglich mit der Complementärfarbe des Roth übereinstimmte. Die beiden Farben grenzten in einer geraden Linie scharf an einander, diese Linie will ich kurz die Grenzlinie nennen. Um den Winkel der Drehung dieses Streifens zu bestimmen, war über die Tafel ein Faden horizontal gespannt, der mit der Grenzlinie zusammenfiel, wenn der Streifen horizontal lag. Drehte ich den Streifen, so bildete der horizontale Faden mit der Grenzlinie einen Winkel. Zur Messung desselben hatte ich am Rande des Streifens eine Millimetereintheilung aufgezeignet Nenne ich r den Winkel der Drehung, m die Anzahl von Millimetern, um die ich den Streifen aus der horizontalen Lage verschoben hatte und beträgt die Länge des Streifens bis zum Drehpunkt 85 Mm., so ist tg. $r = \frac{m}{85}$

Um den Winkel für die Erhebung der Augen messen zu können, hatte ich den Kopf auf die schon oben bezeichnete Art fixirt, indem ich ein in passender Höhe befestigtes Bettchen zwischen den Zähnen hielt, und die Stirne noch gegen eine feste Stütze lehnte. Bei den Versuchen in der Medianstellung konnte ich dann aus der Entfernung des Auges von der Tafel = 435 Mm. und der Entfernung des fixirten Punktes vom Mittelpunkte des Streifens (e), auf dem meine Gesichtslinie senkrecht stand, den Winkel für

die Erhebung meines Auges (y) messen. Es war dann $\text{tg. } y = \frac{e}{435}$.

Zuerst musste ich nun die Primärlage bestimmen, dazu fixirte ich eine Weile den Mittelpunkt des horizontal gestellten Streifens und schweifte dann mit meinem Blick längs dem horizontalen Faden, um zu sehen, ob die Grenzlinie des Nachbildes überall mit demselben zusammenfiel. Geschah das nicht, so gab ich dem Brettchen zwischen meinen Zähnen eine etwas andere Lage, senkte oder hob es etwas, bis das Nachbild des Streifens den Faden gerade deckte. Ich konnte ein Zusammenfallen der Grenzlinie mit dem Faden aber nur annähernd erreichen; es blieb in der Stellung der Augen, die ich schliesslich für meine Primärlage annahm, immer noch ein Schwanken in der Stellung des Nachbildes vorhanden. Nach dem Listing'schen Gesetze sollte nun das Nachbild des horizontalen Streifens bei verticaler Verschiebung des Fixationspunktes stets parallel bleiben. Ich hatte darum noch fünf parallele Linien auf der Tafel ausgespannt, von denen zwei über der ersten gelegen 20 und 30 Cntmtr. von ihr entfernt waren. Die drei tiefer gelegenen standen 20, 40 und 60 Cm. von ihr ab.

Wie ich schon aus den frühern Versuchen schliessen konnte, fielen bei mir die Nachbilder des horizontalen Streifens bei der Erhebung der Augen nicht mit den horizontalen Fäden zusammen, ich musste also den Streifen drehen, um dieses zu erreichen, und dabei auf den Sinn der Drehung achten. Es ist klar, dass bei Fixation des Mittelpunktes des Streifens die Grenzlinie sich auf den horizontalen Trennungslinien abbildet. Nun bleibt das Nachbild unverändert an dieselben Stellen der Netzhaut gebunden. Fällt also bei verticaler Verschiebung des Fixationspunktes das Nachbild nicht mehr mit der horizontalen Linie zusammen, so werden von dieser an-

dere Punkte der Netzhaut afficirt, als früher von dem farbigen Streifen. Bei positiver Erhebung der Augen erscheint mir das Nachbild so geneigt, dass sein äusseres Ende unter dem horizontalen Faden liegt, es ist also auch die horizontale Trennungslinie so geneigt, dass der äussere Theil unter der Visirebene liegt, diese Drehung des Auges sollte aber positiv gerechnet werden. Will ich also eine Coincidenz des Nachbildes mit einer höher gelegenen Horizontalen erhalten, so muss die äussere Seite des Streifens nach oben gedreht, und diese Drehung als positive bezeichnet werden. Es hat hierbei die Umkehrung der Netzhautbilder auf die Beurtheilung des Sinnes der Raddrehung keinen Einfluss.

Zuerst stellte ich mit dem rechten Auge die Beobachtung der Nachbilder an, dann mit dem linken. Bei den Versuchen mit dem linken Auge war es natürlich nöthig den Mittelpunkt des Papierstreifens 64 Millimeter nach links zu verschieben.

Die Nachbilder ergeben nun für die verticale Verschiebung des Fixationspunktes folgende Zahlen.

Tabelle VI.

Winkel für die Erhebung der Augen = y	Anomalie des rechten Auges = r.	Anomalie des linken Auges = r.
+ 34° 35′ 31″	+ 3″ 42‴ 28″	+ 5″ 30′ 33″
+ 24° 42′ 41″	+ 2° 1′ 21″	+ 3° 1′ 49″
0° 0′ 0″	0° 0′ 0″	0° 0′ 0″
− 24° 42′ 41″	− 0° 40′ 28″	− 0° 40′ 27″
− 42° 36′ 0″	− 1° 20′ 53″	− 1° 20′ 52″
− 54° 3′ 27″	− 2° 1′ 21″	− 2° 1′ 21″

Vergleicht man diese Zahlen mit denen in der ersten Tabelle, so findet man eine so grosse Uebereinstimmung, wie es nur irgend erwartet werden konnte. Die Anomalien des linken Auges sind nnr bei gehobenem Blick grösser als die des rechten Auges gefunden, wahrscheinlich ist die Methode nicht genau, genug um auch die

kleinen Unterschiede dieses Winkels, welche hiernach bei gesenktem Blicke zu erwarten sind, zu constatiren. Für die Erhebung der Augen = 0 finde ich in der ersten Tabelle für r den Winkel 0° 38′ 43″ verzeichnet, und hier ist er nicht bemerkbar gewesen. Wie ich schon bei der Aufsuchung der Primärstellung bemerkte, tritt bei der Beobachtung des Nachbildes leicht ein Schwanken desselben ein, und wenn man das Auge noch so fest auf einen Punkt fixirt hält. Dieses Schwanken des Nachbildes erlaubt es nicht sehr kleine Winkel zu messen. Aus dem Winkel von 0° 38′ 43″ sieht man aber bis zu welcher Grösse hier die Beobachtungsfehler kommen können. —

In einer zweiten Reihe von Beobachtungen versuchte ich die Anomalien für die Diagonalstellungen der Augen zu bestimmen, jedoch nur für die an den Grenzen des Gesichtfeldes gelegenen Punkte. Ich drehte dabei den farbigen Streifen um 45° aus der horizontalen Richtung und spannte in dieser von rechts oben nach links unten und von links oben nach rechts unten Fäden aus, längst welchen ich den Fixationspunkt verschob. Für normale Augen muss auch bei diesen Bewegungen das Nachbild mit dem Faden zusammenfallen. Die Bewegung in einer dieser Diagonalstellungen konnte ich mir zusammengesetzt denken aus zwei gleich grossen andern, aus einer verticalen und einer horizontalen Bewegung. Einer Verschiebung um d Millimeter in diagonaler Richtung kamen gleich eine verticale und eine horizontale Verschiebung, jede um $\sqrt{\frac{d^2}{2}}$ Nenne ich den Winkel der Seitwärtsdrehung λ und den Winkel der Erhebung y, so würde

$$\text{tg. } \lambda = \frac{d}{\sqrt{435.\ 2}} \text{ und tg. } y = \frac{d \cos \lambda}{\sqrt{435.\ 2}} \text{ sein.}$$

Den Winkel λ nehme ich positiv, wenn die Gesichts-

linie nach der Nase zugekehrt ist. Die Rechnung ergiebt dann folgende Winkel.

Tabelle VII.

Rechtes Auge	r	Linkes Auge	r
$\lambda = +31^{\circ}\ 1'\ 29''$ $y = +27^{\circ}\ 16'\ 0''$	$+2^{\circ}\ 21'\ 28''$	$\lambda = +28^{\circ}\ 12'\ 36''$ $y = +25^{\circ}\ 18'\ 3''$	$+5^{\circ}\ 42'\ 38''$
$\lambda = -31^{\circ}\ 42'\ 13''$ $y = +27^{\circ}\ 43'\ 24''$	$+1^{\circ}\ 41'\ 5''$	$\lambda = +34^{\circ}\ 19'\ 22''$ $y = +29^{\circ}\ 24'\ 8''$	$+3^{\circ}\ 42'\ 8''$
$\lambda = -41^{\circ}\ 47'\ 53''$ $y = -33^{\circ}\ 41'\ 0''$	$+0^{\circ}\ 0'\ 0''$	$\lambda = +39^{\circ}\ 6'\ 11''$ $y = -32^{\circ}\ 14'\ 17''$	$+1^{\circ}\ 0'\ 40''$
$\lambda = -33^{\circ}\ 18'\ 53''$ $y = -34^{\circ}\ 27'\ 0''$	$-3^{\circ}\ 1'\ 50''$	$\lambda = -49^{\circ}\ 29'\ 18''$ $y = -37^{\circ}\ 13'\ 36''$	$-2^{\circ}\ 21'\ 28''$

Das wichtigste Ergebniss dieser Tabelle scheint mir darin zu bestehen, dass die Anomalie beim Blick nach oben stets positiv ist, mag man nach oben und innen oder nach oben und aussen sehen. Beim Blick nach unten ist dieser Winkel bis auf eine Ausnahme negativ. Nur bei der einen Bewegung nach innen und unten hat das Auge eine positive Anomalie gezeigt. Da für die entsprechende Stellung beim rechten Auge gar keine Drehung beobachtet ist, so wage ich aus der einen abweichenden Zahl keinen Schluss zu ziehen. Diese Tabelle zeigt ferner, dass auch bei den Diagonalstellungen die Anomalie des linken Auges etwas grösser als die des rechten Auges ist. —

Aus den Versuchen mit Doppelbildern ging schon hervor, dass der verticale Meridian des Auges nicht vertical zu dem horizontalen Meridian stehen kann. Die Abweichung vom rechten Winkel schien für meine Augen ungefähr einen halben Grad zu betragen. v. Recklinghausen*) hat auf diese Asymmetrie des Auges zuerst aufmerksam gemacht. Er bemerkte, dass ein rechtwinkliges Kreuz,

*) Dieses Archiv. Bd. 5. Abth. II.

auf dessen Mittelpunkt er senkrecht sah, nicht mehr rechtwinklig erschien, wenn er es mit jedem Auge allein betrachtete. War das Kreuz so gestellt, dass ein Schenkel gerade vertical, der andere horizontal stand, so schien dem rechten Auge der nach rechts und oben gelegene Winkel stumpf zu sein. Dem linken Auge erschienen dagegen die andern beiden Winkel stumpf. Als ich diesen Versuch von v. Recklinghausen*) zum ersten Male nachmachte, glaubte ich ihn einfach bestätigen zu müssen, bei wiederholten Betrachtungen des Kreuzes erschien mir jedoch die verticale Linie im Schnittpunkte geknickt zu sein, und für das rechte Auge der stumpfe Winkel, der nach unten und links lag, entschieden grösser, als der stumpfe Winkel, der nach oben und rechts gekehrt war, ich sah also anstatt der 4 rechten Winkel 4 verschieden grosse schiefe Winkel. Um diese Winkel zu messen, schnitt ich mir aus Pappe die Form eines Uhrpendels aus. An der Stelle des scheibenförmigen Gewichts liess ich nur einen Ring stehen, über den ich in der Längsrichtung des Pendels einen Faden spannte.

Das obere Ende des Pendels war durch eine Nadel an einer senkrechten Wand befestigt und konnte um die Nadel als Axe nach rechts und links gedreht werden. Hing das Pendel vertical, so lag auch der über dem Ringe ausgespannte Faden an der Wand vertical. Nun hatte ich noch einen horizontalen Faden an der Wand so ausgespannt, dass er bei verticaler Lage des Pendels den Faden über den Kreisausschnitt in zwei gleiche Stücke theilte und rechtwinklig schnitt. Bei Verschiebung des Pendels wurde der verticale Faden mit verschoben, der

*) Wie ich es aus einer mündlichen Mittheilung von Herrn Prof. v. Recklinghausen erfahren, ist er auch kurzsichtig, und beträgt seine Myopie circa $\frac{1}{13}$

horizontale blieb unverändert an seinem Orte, und so konnte ich das Pendel für jedes Auge so einstellen, dass mir entweder die in den beiden untern Quadranten gelegenen Winkel oder die beiden andern Winkel rechtwinklig erschienen. Dabei machte ich die Beobachtung, dass die Verschiebung des Pendels um so grösser ausfiel, je länger ich hinsah, und hielt ich es daher für rathsam die Einstellung zu rechten Winkeln schnell hintereinander, zuerst für das rechte Auge und dann für das linke zu machen, und die Summe beider Verschiebungen zu messen.

Die Anzahl von Millim., um welche die Spitze des Pendels zur Seite geschoben, dividirt durch die Länge desselben ist die Tangente des Winkels (d), um den die Fäden nach der Verschiebung von einem Rechten abweichen. Die Länge des Pendels betrug 650 Mm. Ich fand nun bei scheinbar rechtwinkliger Einstellung der Fäden in den beiden untern Quadranten für die seitliche Verschiebung des Pendels folgende Zahlen

6	Mm.
9	„
7	„
6	„
7	„
Mittel 7	Mm.

$$\text{tg. d.} = \frac{7}{560} \text{ also } d = 0^{\circ}\ 42'\ 50''$$

Bei der Beobachtung der Winkel in den beiden obern Quadranten fand ich folgende Zahlen

4
5
5
5
5
Mittel 7

$$\text{tg. } d_1 = \frac{4,8}{560} \quad d_1 = 0^\circ\ 29'\ 30''$$

Ein anderer Versuch ergab folgende Zahlen

in den untern Quadranten	in den obern Quadranten
9	6
6	4
8	6
6	4
8	4
Mittel 7,4	Mittel 4,8
$\text{tg. } d = \frac{7,4}{560}$, $d = 0^\circ\ 45'\ 24''$	$\text{tg. } d_1 = \frac{4,8}{570}$, $d_1 = 0^\circ\ 29'\ 30''$

Die Winkel für d, welche ich bei den Versuchen mit Doppelbildern fand, waren $0^\circ\ 44'\ 24''$ und $0^\circ\ 34'\ 51''$, sie stimmen ziemlich gut mit dem Winkel d für die untern Quadranten überein.

Die Knickung des verticalen Fadens im Kreuzungspunkte veranlasste mich einen vertical hängenden Faden, der nicht von einem andern gekreuzt war, mit einem Auge allein zu betrachten. Sah ich senkrecht auf den Faden, so erschien er mir für das rechte Auge als ein schwacher Bogen mit der Concavität nach rechts, für das linke Auge als ein schwacher Bogen mit der Concavität nach links. Diese Erscheinung trat noch deutlicher hervor, wenn ich abwechselnd zuerst mit einem und dann mit dem andern Auge schnell hintereinander den Faden ansah.

Hieraus glaube ich zu dem Schlusse berechtigt zu sein, dass die Trennungslinien meiner Augen nicht diejenigen Linien sind, in welchen die durch die Gesichtslinie gelegten Ebenen die Netzhaut schneiden, sondern dass es Curven sind, die nur annähernd mit den Meridianen zusammenfallen. —

Wie mir Herr Hofrath Helmholtz mittheilt, hat auch Herr Stud. Engelmann eine verticale Linie im Fixationspunkte stets geknickt gesehen. — Fasse ich nun mit kurzen

Worten die Resultate meiner Untersuchungen zusammen, so finde ich:

1) Dass mein kurzsichtiges Auge dem Listing'schen Gesetze nicht folgt, dass aber die Abweichung der Bewegung für die beim Sehakt am häufigsten vorkommenden Stellungen des Auges sehr unbedeutend ist, und erst bei starker Erhebung und Senkung desselben auffällig wird.
2) Dass die Anomalie des Auges bei positiver Erhebung positiv, bei negativer negativ ist.
3) Dass die Anomalie beider Augen nicht vollkommen gleich ist, sondern dass die Anomalie des linken Auges die des rechten überwiegt.
4) Dass die beiden verticalen Trennungslinien meiner Augen einen Winkel von circa 2^0 mit einander bilden.
5) Dass die verticalen Trennungslinien nicht vollkommen senkrecht auf den horizontalen Trennungslinien stehen.
6) Dass die Trennungslinien meiner Augen Curven sind, die nicht genau mit den Meridianen zusammenfallen.

Ueber die Wirkung der verschiedenen Arzeneistoffe auf die Bindehaut des Augenlides.

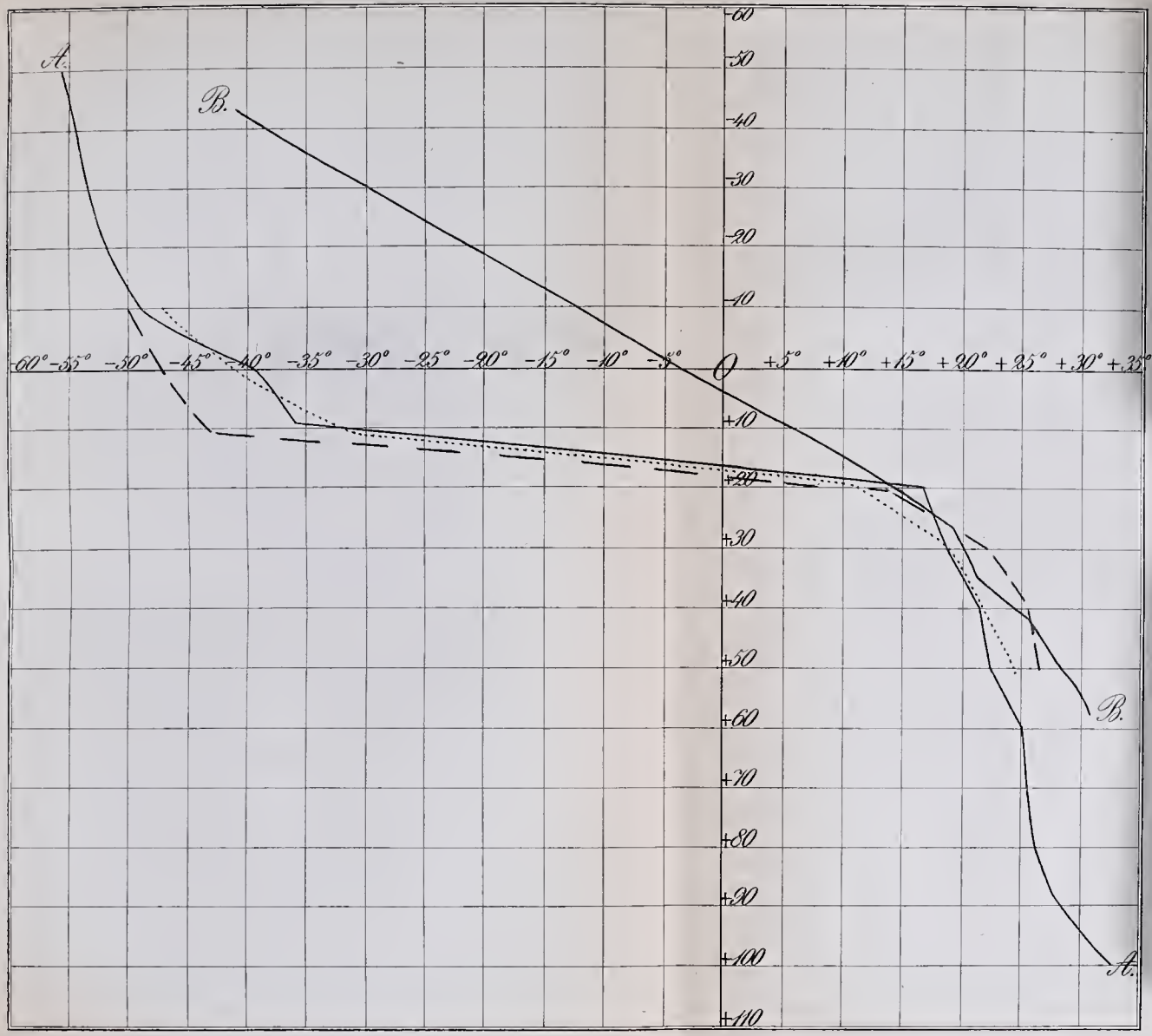
Von

Dr. Prosoroff.

In der ophthalmologischen Praxis braucht man verschiedene Arzeneistoffe gegen gewisse krankhafte Veränderungen des Augenlides; je nach dem Grade der Krankheit wirkt man mit mehr oder weniger starken Mitteln.

Bis jetzt begnügte man sich mit den oberflächlichen makroskopischen Beobachtungen der Veränderungen der Schleimhaut bei der Bestimmung der Arzeneiwirkung auf den Conjunctivalsack, indem man verschiedenen Stoffen verschiedene Wirkung zugeschrieben hat, so z. B. eine kühlende, reizende und adstringirende Wirkung. Aber seitdem das Auge mikroskopischen Untersuchungen unterworfen wurde, seitdem sind auch die pathologischen Veränderungen in den mikroskopischen Elementen des Lides bekannt geworden; man muss ohne Zweifel zu erfahren wünschen, wie man rationell auf diese krankhaften Veränderungen wirken kann; daraus folgt ein neues Problem: Die physiologische Wirkung der Medikamente auf die mikroskopischen Elemente zu studiren, was bisher, so viel mir bekannt, noch nicht geschehen ist.

Wenn man richtig über die Wirkung der Medikamente


A.
B.
-60
-50
-40
-30
-20
-10
-60° -55° -50° -45° -40° -35° -30° -25° -20° -15° -10° -5° 0 +5° +10° +15° +20° +25° +30° +35°
+10
+20
+30
+40
+50
+60
+70
+80
+90
+100
+110
B.
A.